基于色散补偿技术的超长距离 L 波段传输方式

包 勇 邱承浚 张 丽
（华数传媒网络有限公司，浙江 杭州 311300）

摘要：【目的】探讨 L 波段信号经过超远距离光缆安全稳定传输至华数前端机房的技术实现。【方法】文章通过在实验模型色散补偿方式分析的基础上，结合工程实际进行实地测试验证。【结果】通过合理的色散管理，可较好地补偿长距离传输系统带来的色散问题。【结论】在 L 波段光信号传输途中使用前置色散补偿器和 EDFA 光信号中继设备的方式可以实现 125 公里 L 波段信号传输，经此远距离传输的 L 波段信号，满足华数前端机房卫星信号的接收需求。

关键词：光纤色散；非线性效应；色散补偿；补偿量；传输方式 **中图分类号：**TN919.8 **文献标识码：**A
文章编号：1671-0134（2023）03-152-03 **DOI：**10.19483/j.cnki.11-4653/n.2023.03.034
本文著录格式：包勇，邱承浚，张丽 . 基于色散补偿技术的超长距离 L 波段传输方式 [J]. 中国传媒科技，2023（03）：152-154.

导语

华数传媒前端是浙江省数字电视信源中心，由其接收处理的信源提供浙江省各地市作为直播播出信源，信源中心接收处理的节目中卫星接收信源占比高达 75%。[1] 因此，卫星信源的接收和传输安全是浙江省安全播出工作的重中之重。随着电信运营商在杭州市区 5G 通讯业务的发展和基站覆盖密度的增加，华数公司卫星信号接收遭受 5G 干扰的情况越来越严重，已经严重影响播出安全。经公司决策，决定异地选址建设无干扰的卫星接收站，并将无干扰、稳定高质量的卫星信号通过 L 波段长距离光传输系统经专线传输光缆接入华数前端机房，从而彻底排除 5G 信号对卫星信号接收及稳定传输的隐患。

然而，异地卫星接收站距离华数前端机房总光缆链路长度约为 125 千米。考虑到远距光纤传输中的非线性效应（光纤色散、损耗等）可能会造成光纤通信中出现信号质量下降、信息丢失等问题 [2]，如何将 L 波段信号经过超远距离光缆安全稳定传输至华数前端机房，是本文研究的主要内容。

1. 系统模型

针对远距光传输系统中传输信号质量下降的问题，实际工程应用中经常启用色散管理，即采用色散补偿光纤进行抑制。根据色散补偿模块部署位置的不同，可以分为如下几种补偿方式：前置补偿、中间补偿、后置补偿和对称两段补偿等。按照补偿量的不同也可以分为：完全补偿、一定程度的过补偿和一定程度的欠补偿等补偿方式。[3]

从色散管理的效果来看，在不同的位置用不同量的补偿，其补偿效果是不同的。光纤传输过程中的信号传输环境复杂，采取何种形式的色散补偿方案需要根据工程实际情况进行考量。不同的色散管理方案会对系统性能带来不同的影响，需要对各种出现的情况进行深入研究和分析比较寻找最优的色散管理方案。

图 1 是色散补偿模块（Dispersion compensation module）部署在不同位置进行补偿的实验模型。图中模块补偿量为 1360PS，可以补偿 80 千米普通 G625 光纤造成的色散。图中 A 为没有部署补偿传输方式，B 为前置补偿方式，C 为中间级补偿方式，D 为后置补偿方式，E 为接收端补偿方式。[4] 为了保证 5 种测试条件基本相同，将 75 千米光纤与色散补偿模块合并，统一看作一个单元模块分别部署在系统的开始端、中间端和末端。

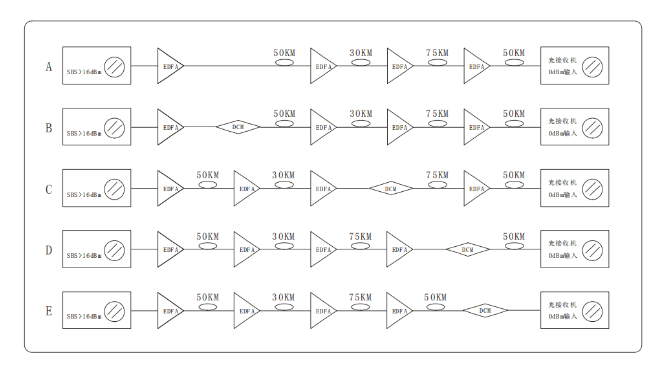


图 1 色散补偿模型结构图

为研究远距光传输系统中光纤色散及其补偿模块的实际补偿能力，实验系统设定为超长传输距离以凸显色散影响，本次模型设定传输距为 205 千米。同时调整每段 EDFA 输出光功率，将每段入纤光功率都控制在 16dBm 以下，以减少自相位调制效应（SPM）引起的指标劣化。[5] 从理论计算分析可知，当补偿模块完全补偿 80 千米色散量的时候，将给系统 CSO 指标带来 6.2dB 的改善量。

上述模型测试结果如下：

A：在完全没有部署色散补偿模块（DCM）时，系统的 CSO 值为 –34dBc（60CH）；

B：首先把传输信号作—1360ps 的变化，然后注入光纤进行传输，是一种过补偿方式。系统测试的 CSO 值为—36.5dBc（60CH），有 2.5dB 的改善，与理论计算值差 3.7dB；

C：信号传输 80 千米后，在 80 千米处作 –1360ps 的色散补偿。系统的 CSO 值达—40dBc（60CH），有 6dB 的改善。与理论计算值接近，补偿效果最好；

D: 信号传输 130 千米后，作—1360ps 的色散补偿。系统的 CSO 值为—39.1dBc（60CH），有 5.1dB 的改善，与理论计算值差 1.1dB；

E: 将色散补偿模块（DCM）部署在光接收机末端。系统的 CSO 值为—33.6dBc（60CH），与完全没有部署色散补偿模块相比反而劣化 0.4dB。补偿效果最差。

由模型实验可知：色散补偿模块部署灵活，适合部署在长距离光纤传输系统，通过合理的色散管理，可较好地补偿长距离传输系统带来的色散问题。色散补偿模块部署位置可依据工程实际进行考量，根据实地勘测情况确定色散补偿方式，不同环境下的补偿效果有所差异。[6] 完全不安装色散补偿模块会造成指标劣化严重，影响信号传输质量；条件允许的情况下，如果在每一段 EDFA 后面都接一个补偿模块，使得每一段光缆传输的色散都基本得到补偿，补偿效果会更好。

2. 技术方案

在异地卫星接收站建设中，卫星信号通过 L 波段长距离光传输系统经专线传输光缆接入华数前端机房，实现异地卫星信号远距安全稳定传输。[7]

具体传输途径如下：从异地卫星接收站接收的 L 波段信号，先传输至区县华数机房，在区县华数机房进行中继放大，再通过专线光缆传输至华数前端机房。实际光缆路由如图 2。

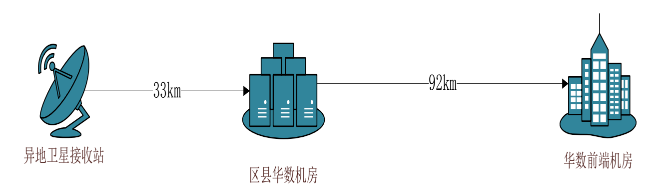


图 2 光传输实际光缆路由图

根据模型计算，可在区县华数机房部署色散补偿模块和 EDFA，即光缆传输 33 千米处进行色散补偿和放大。[8] 由于区县华数机房机柜资源紧张，以前置方式进行色散补偿，即色散补偿器部署在 EDFA 之前对后续线缆敷设、设备维护较为便利。光传输设备部署框架图详见图 3。

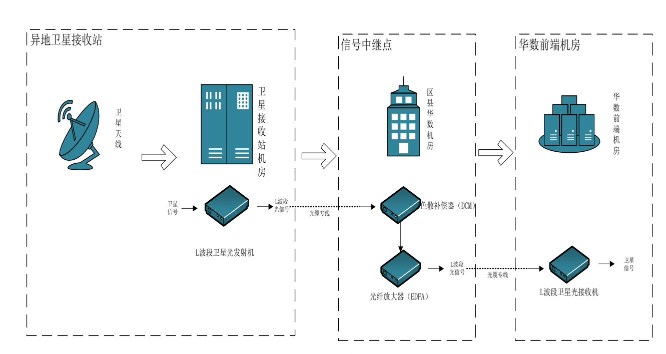


图 3　光传输设备部署框架图

按照前置色散补偿方式实现的超长距离传输是否满足 L 波段信号使用要求，需要进行关键指标测试。测试指标项包括关键节点光功率、异地卫星接收站和前端机房卫星接收指标。

使用光功率，测试并记录各节点光功率，见表 1。

在异地卫星接收站和华数前端机房分别部署卫星接收机，对卫星接收指标进行读取，结果见表 2、表 3。

由表 2、表 3 测试结果可知：在 L 波段光信号传输途中使用前置色散补偿器和 EDFA 光信号中继设备的方式可以实现 125 公里 L 波段信号传输，经此远距离传输的 L 波段信号，满足华数前端机房卫星信号的

表 1　传输关键节点光功率测试情况

传输设备节点	光发输出	色散补偿输入	色散补偿输出	EDFA 输入	EDFA 输出	光收输入
部署位置	异地卫星接收站	区县华数机房	区县华数机房	区县华数机房	区县华数机房	华数前端机房
测试指标（dBm）	9.8	3.38	−4.8	−4.8	15.2	−10.5
指标符合度	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

表 2 异地卫星接收站卫星接收指标测试

下行频率（MHz）	符号率（KBaud）	电平（dBm）	C/N（dB）	Eb/No（dB）	BER	信号状态
3709	10920	−46.2	22.3	20.6	0.00E+00	正常
3808	8800	−50.2	19.3	17.6	0.00E+00	正常
3840	27500	−44.2	19.9	18.2	0.00E+00	正常
4000	27500	−38.2	19.9	18.2	0.00E+00	正常
4115	21374	−40.2	18.8	17	0.00E+00	正常
4171	9200	−46.2	19	17.3	0.00E+00	正常

表 3 华数前端机房卫星接收指标测试

下行频率（MHz）	符号率（KBaud）	电平（dBm）	C/N（dB）	Eb/No（dB）	BER	信号状态
3709	10920	−40	21	18	0.00E+00	正常
3808	8800	−44	16.6	13.6	0.00E+00	正常
3840	27500	−40	17.8	14.8	0.00E+00	正常
4000	27500	−36	18.3	15.3	0.00E+00	正常
4115	21374	−36	18.1	15.1	0.00E+00	正常
4171	9200	−44	17.3	14.3	0.00E+00	正常

接收需求。

结语

华数异地卫星接收站各极化 L 波段信号经 125 公里超长传输路由传输至华数前端机房，目前已经接入大网投入正式使用。在中国共产党成立 100 周年纪念活动、党的“二十大”等重大主题安全播出保障期提供安全稳定的卫星信源，有力保障了安播重保任务和日常安全播出工作的顺利完成。

各地广电卫星接收站由于建设年代较早，一般位于城区位置。在新的时代背景下，5G 通信技术取得一定发展，随着 5G 商用部署的持续推进，各城市区域三大电信运营商 5G 基站覆盖数量和覆盖密度不断增加[9]，对当地广电卫星接收站的干扰也持续增强，在远离城区的郊区兴建异地卫星接收站成为解决电信运营商 5G 干扰的终极手段。[10] 因此，采用色散补偿方式实现超长距离 L 波段稳定安全光传输，在行业内具备一定的推广价值。

参考文献

[1] 余海杨，叶 涛，邵 龙，等 . 基于光通信色散管理技术的非线性效应与色散补偿性能研究 [J] 激光杂志，2017（8）：32−35.

[2] 曹文华 . 准线性光纤传输系统中几种色散补偿方案的性能比较 [J]. 光学学报，2018（4）：62−69.

[3] 包力泰 .5G 通信技术背景下物联网应用发展 [J]. 中国传媒科技，2022（8）：92−94.

[4] 毋冰 .5G 通信技术对新闻传播带来的机遇与挑战 [J]. 中国传媒科技，2022（5）：64−66.

[5] 高永刚 .5G 技术下广播电视媒介的发展机遇与创新探讨 [J]. 中国传媒科技，2022（4）：56−58.

[6] 朱永文、喻兰辰晖 .L 波段数字航空通信系统研究 [J]. 南京航空航天大学学报，2022（4）：700−714.

[7] 刘小磊、熊雪娟、李冰心 . 基于 Optisystem 的光纤传输系统的色散补偿分析 [J]. 光通信研究，2016（5）：5−7，38.

[8] 王霏、肖平平 . 具有混合形状空气孔的 QAM 传输光纤设计研究 [J]. 光电子・激光，2020（3）：217−222.

[9] 曹雪 . 以啁啾光栅对波分复用系统色散补偿的研究 [J]. 光电子・激光，2021（2）：217−222.

[10] 申静，潘建 . 色散补偿光纤的分波长色散补偿 [J]. 光通信技术，2019（2）：27−29.

作者简介：包勇（1972−），男，浙江杭州，教授级高级工程师，研究方向为数字电视技术；邱承浚（1981−），男，浙江杭州，高级工程师，研究方向为数字电视技术；张丽（1982−），女，山东单县，高级工程师，研究方向为数字电视技术。

（责任编辑：张晓婧）